



UNIVERSIDADE DO VALE DO TAQUARI
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**EFEITO DA APRENDIZAGEM NA EXECUÇÃO DE ESTRUTURAS DE
CONCRETO ARMADO EM PAVIMENTOS REPETITIVOS**

Cristina Natália Bianchini

Lajeado, Novembro de 2017

Cristina Natália Bianchini

EFEITO DA APRENDIZAGEM NA EXECUÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO EM PAVIMENTOS REPETITIVOS

Trabalho de conclusão de curso, apresentado ao Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, da Universidade do Vale do Taquari, como parte das exigências para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Antônio Pregeli Neto

Lajeado, novembro de 2017

Cristina Natália Bianchini

EFEITO DA APRENDIZAGEM NA EXECUÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO EM PAVIMENTOS REPETITIVOS

A Banca examinadora abaixo aprova o trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso – Etapa II, na linha de formação específica em Engenharia Civil, da Universidade do Vale do Taquari, como parte da exigência para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil.

Prof. Ma. Antonio Pregeli Neto – Orientador
Centro Universitário Univates

Prof. Ma. João Batista Gravina
Centro Universitário Univates

Prof. Ma. Ivandro Carlos Rosa
Centro Universitário Univates

RESUMO

Atualmente se torna cada vez mais necessário o controle nos processos da construção civil para que as empresas possam se diferenciar dos concorrentes, tornando-se mais competitivas e lucrativas. A produtividade é um item que merece ser avaliado com atenção, pois influencia diretamente na qualidade do produto final e no custo de uma edificação. O gerenciamento e o apontamento de melhorias no processo podem trazer resultados gerais muito positivos. O presente trabalho analisou a quantidade de homens-horas necessárias para a realização de uma determinada atividade através da observação dos serviços e de planilhas de produtividade da mão de obra e evidenciou o ganho produtivo conforme ocorrem repetições dos processos devido ao efeito da aprendizagem nos serviços de fôrma, armação e concretagem. Concluiu-se que quanto mais complexos os serviços maiores são os ganhos de produtividade e que o efeito da aprendizagem deve ser considerado no planejamento e gestão de obras com características semelhantes.

Palavras-chaves: Produtividade. Construção civil. Aprendizagem.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Definição de produtividade em um processo	18
Figura 2 – Diferentes abrangências do estudo da produtividade	18
Figura 3 – Fatores que interferem na produtividade.....	20
Figura 4 – Grau de Instrução do Trabalhador Formal da Construção Civil	21
Figura 5 – Curva de Aprendizagem.....	23
Figura 6 – Projeção da obra	28
Figura 7 – Implantação.....	28
Figura 8 – Armadura dos pilares	34
Figura 9 – Fôrmas dos pilares.....	35
Figura 10 – Fôrmas vigas.....	35
Figura 11 – Fôrmas Laje	36
Figura 12 – Laje armada	36
Figura 13 – Escoramento	37
Figura 14 – Concretagem.....	37

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Efeito da aprendizagem na execução de fôrmas	39
Gráfico 2 – Efeito da aprendizagem na execução de fôrmas (média)	39
Gráfico 3 – Efeito da aprendizagem na execução de armadura.....	41
Gráfico 4 – Efeito da aprendizagem na execução de armadura (média)	42
Gráfico 5 – Efeito da aprendizagem na execução da concretagem	44
Gráfico 6 – Efeito da aprendizagem na execução da concretagem (média)	44
Gráfico 7 – Efeito da aprendizagem na execução da estrutura de concreto armado	47
Gráfico 8 – Efeito da aprendizagem na execução da estrutura de concreto armado	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Produtividade dos trabalhadores	20
Tabela 2 – Quantitativo	30
Tabela 3 – Produtividade na execução das fôrmas.....	38
Tabela 4 – Produtividade na execução das armaduras	40
Tabela 5 – Produtividade na execução da concretagem.....	43
Tabela 6 – Produtividade na execução da estrutura de concreto armado	46
Tabela 7 – Comparação de dados dos serviços	48

LISTA DE ABREVIATURAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ECA	Estrutura de Concreto Armado
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
PAIC	Pesquisa Anual da Indústria da Construção
RUP	Razão Unitária de Produção
TCPO	Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
1.1 Objetivos	10
1.1.1 Objetivos gerais	10
1.1.2 Objetivos específicos.....	10
1.2 Justificativa.....	11
1.3 Delimitação	11
1.4 Estrutura	11
 2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	 13
2.1 Estruturas de concreto armado	13
2.1.1 Fôrmas	14
2.1.2 Armadura	15
2.1.3 Concretagem	16
2.2 Produtividade	17
2.3 Efeito da Aprendizagem.....	23
2.3.1 Utilização do Efeito da Aprendizagem na construção civil	25
 3 MÉTODO DE PESQUISA	 27
3.1 Descrição da obra	27
3.1.1 Conjunto residencial	28
3.2 Serviços	29
3.3 Colaboradores	29
3.4 Levantamento de dados	30
3.5 Efeito da aprendizagem	31
 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	 33
4.1 Características da empresa.....	33
4.2 Ciclo construtivo	34
4.3 Resultados e discussões referentes a execução de fôrmas	38
4.4 Resultados e discussões referentes a execução das armaduras.....	40
4.5 Resultados e discussões referentes a execução da concretagem.....	42
4.6 Resultados e discussões referentes a execução da estrutura de concreto armado	45
4.7 Análise comparativa dos resultados	48
 5 CONCLUSÕES	 50

REFERÊNCIAS.....	52
-------------------------	-----------

APÊNDICES	55
------------------------	-----------

APÊNDICE A – Planilha de acompanhamento diário de produção	56
--	----

APÊNDICE B – Planilha de produtividade do pavimento	57
---	----

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil cresceu rapidamente e de forma não planejada nos últimos anos, com o auxílio do Governo Federal que amplificou programas sociais facilitando a compra de imóveis, a população pode ter acesso a casa própria, gerando um aquecimento do mercado da construção civil. No entanto, devido ao atual momento político e econômico, pode-se notar uma mudança negativa de cenário e as empresas devem se adaptar para continuarem competitivas

O atual período de recessão não deve ser visto por um ponto de vista negativo, já que é o momento de serem feitos ajustes para o futuro. Devem ser repensadas estratégias de mercado, diminuídos custos e é preciso se investir em planejamento e produtividade para que se possa garantir a competitividade e lucratividade das empresas.

Não há dúvidas quanto à interferência da crise política – econômica no setor da construção, todavia é notável uma melhoria em alguns aspectos do ponto de vista da produtividade. Com a menor demanda de obras, é necessária uma menor quantidade de funcionários, isto significa que há uma seletividade, que antes não existia.

A avaliação da produtividade é de suma importância para a construção civil, uma vez que o atual cenário reflete diretamente neste mercado. É preciso reduzir qualquer tipo de desperdício, seja de materiais ou de mão de obra, as empresas necessitam melhorar a produtividade aprimorando processos e a qualidade dos serviços.

De acordo com estudo da produtividade na Construção Civil realizado pela EY Brasil, a construção civil é conhecida por possuir baixos índices de produtividade se comparada a outras indústrias, isso se deve a uma série de fatores, entre eles a baixa qualificação da mão de obra, a alta rotatividade, o caráter provisório dos canteiros e até mesmo a falta de gestão e planejamento.

Em vista disso, o trabalho irá quantificar os valores de produtividade de mão de obra na execução dos serviços de fôrmas, armação e concretagem de uma obra na região do Vale do Rio Pardo/RS, buscando apontar os ganhos de produtividade devido ao efeito da aprendizagem.

De início será apresentada uma contextualização quanto ao assunto, abordando o cenário atual em que a construção civil está inserida, o conceito e métodos para avaliar a produtividade e as características das curvas de aprendizagem e a descrição da execução dos serviços que serão executados bem como a importância dos mesmos no conjunto total da obra.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivos gerais

O objetivo deste trabalho é medir a produtividade da mão de obra na execução dos serviços de fôrma, armação e concretagem para estruturas de concreto armado de um edifício com pavimentos de caráter repetitivo, analisando ganhos produtivos devido ao efeito da aprendizagem.

1.1.2 Objetivos específicos

- Entender os processos para a execução de uma estrutura de concreto armado;
- Coletar dados diários referentes à produção dos serviços;
- Analisar fatores que possam ter afetado a produtividade;

- Sugerir melhorias e alternativas para a execução, caso seja necessário;
- Elaborar curvas de aprendizagem a partir da produtividade de cada pavimento;

1.2 Justificativa

A importância em se controlar a produtividade é cada vez mais nítida, a mão de obra tem se tornado um fator de elevado custo e que necessita ser gerido para as empresas ganharem competitividade.

Obras com caráter repetitivo devem considerar um ganho produtivo devido aos efeitos da aprendizagem, esse ganho necessita ser quantificado para fins de orçamento e cronograma, para que se possam planejar futuras obras de forma mais realista e coerente.

1.3 Delimitação

O presente trabalho se delimita a avaliar a produtividade e o efeito da aprendizagem apenas dos serviços envolvidos na execução de estruturas de concreto armado (fôrmas, armação e concretagem), também se delimitando ao caso de cinco pavimentos tipo de uma edificação, bem como suas características e métodos construtivos.

1.4 Estrutura

No primeiro capítulo do presente trabalho apresenta-se a Introdução, objetivos, justificativa e delimitação do tema. Em seu segundo capítulo uma revisão teórica relativa a definição de produtividade, bem como fatores que possam influenciá-la positivamente ou negativamente e a importância de se avaliá-la. Caracterizou-se o efeito da aprendizagem e a importância de se considerá-lo no planejamento de obras.

Em seguida definiu-se o que é e quais os serviços a serem realizados para execução de uma estrutura de concreto armado, assim como a importância da mesma em um contexto geral da obra.

O capítulo 3 é destinado para a metodologia do trabalho, é apresentada a obra em que se realizará o estudo, os quantitativos de cada serviço e a forma de execução dos mesmos. Também é proposto um método de coleta de dados para a posterior avaliação da produtividade e aprendizagem.

Em seguida, baseados na metodologia, serão apresentados os resultados obtidos de forma gráfica, que foram avaliados individualmente e criticamente.

E, posteriormente, apresentam-se as conclusões que consistem em uma análise quanto ao cumprimento dos objetivos iniciais propostos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico apresenta uma base bibliográfica de assuntos ligados ao objetivo final do presente trabalho, como a caracterização do termo produtividade e da importância do tema para a construção civil e para a execução dos serviços para a realização de uma estrutura de concreto armado. Posteriormente, buscou-se caracterizar o efeito da aprendizagem, sua modelagem em curvas e como considerá-las no cronograma de uma obra.

2.1 Estruturas de concreto armado

O concreto é o material mais utilizado no Brasil para a constituição de estruturas (TCPO, 14. Ed.), sendo importante serem analisadas três partes do conjunto: o concreto, as armaduras e os moldes (fôrmas), este último não compõe a estrutura final, mas necessita ser considerado devida a importância nos custos e na qualidade do produto resultante.

De acordo com Zorzi (2002), a execução da estrutura determinará o início das tarefas subsequentes, sendo que eventuais atrasos não podem ser recuperados, também se deve considerar a importância financeira desta etapa da obra que corresponde a cerca de 20% do custo total da construção, sendo que desta porcentagem metade será destinada à mão de obra, conforme a Concrete Society (2005).

Freire (2001) afirma que a estrutura funciona como um “gabarito da obra” e se executada de forma errônea irá afetar seus custos próprios e dos sistemas seguintes.

A estrutura de concreto armado (ECA) é a base deste trabalho, os sistemas pilar, viga e laje que serão estudados descarregam seus esforços nas fundações, composta por estacas e blocos de concreto armado, que promovem a sustentação de toda a estrutura.

2.1.1 Fôrmas

As fôrmas possuem grande importância para as edificações, apesar de às vezes não receberem a importância devida por serem estruturas temporárias.

A Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) afirma que além de modelar, de dar forma a qualquer peça em concreto que se queira construir, as fôrmas são responsáveis por atender a várias exigências não menos importantes:

- “Garantir a geometria (dimensões e formatos)”;
- “Garantir o posicionamento das peças (junto com o cimbramento permite a locação exata no espaço de todas as peças estruturais)”;
- “Manter a conformação do concreto “fresco””;
- “Permitir a obtenção de superfícies especificadas (concreto aparente, a ser revestido, texturado, etc)”;
- “Possibilitar o posicionamento de outros elementos nas peças (furos de passagens, inserts, elementos de instalações hidráulicas e elétricas, espaçadores, a própria armadura)”;
- “Proteger o concreto novo (devido a fragilidade do concreto novo, as fôrmas o protegem contra impactos acidentais bem como contra variações bruscas da temperatura ambiente)”;
- “Evitar a fuga de finos (as fôrmas devem ser estanques, evitando perda de argamassa ou nata de cimento)”;
- “Limitar a perda de água do concreto fresco (mantendo a quantidade de água necessária para hidratação do concreto)”.

As fôrmas possuem grande representatividade no custo de uma obra, de acordo com Maranhão (2000) são responsáveis por consumirem de 40 % a 60% do

custo total da estrutura de concreto armado e de 8% a 12% do custo final da edificação.

Analizando a questão executiva Assahi (2005) afirma que em processos produtivos convencionais a execução da estrutura consome cerca de 50% do tempo total de obra e destes as fôrmas são responsáveis por 60%, ou seja, são responsáveis por 30% do prazo total do empreendimento.

2.1.2 Armadura

A armadura é caracterizada de acordo com Freire (2001) como a associação de peças de aço que formam um conjunto para determinado componente estrutural. Esse conjunto será associado através de arame recozido ou, em alguns casos, por soldagem.

De acordo com Barros e Melhado (1998) a função principal da armadura é resistir aos esforços de tração que a estrutura é submetida e auxiliar aumentando a capacidade de resistência à compressão das peças.

A armadura possui a função de resistir a esforços de tração e cisalhamento nas estruturas, uma vez o concreto simples possui baixa resistência a estes esforços (Fusco, 2008), esta acaba sendo descartada, sendo apenas considerada a resistência da armadura para esforços de tração.

De acordo com a NBR 14931 (2004) – “Execução de estruturas de concreto – procedimento”, determina o modo em que o aço deverá ser armazenado:

- a) “as barras devem ser estocas de forma a manterem inalteradas suas características geométricas e suas propriedades, desde o recebimento na obra até seu posicionamento final na estrutura”;
- b) “cada tipo de classe de barra, tela soldada, fio ou cordoalha utilizado na obra deve ser claramente identificado logo após seu recebimento, de modo que não ocorra troca involuntária quando de seu posicionamento na estrutura”;

- c) “para aços recebidos cortados e dobrados, valem as mesmas prescrições para as diferentes posições”;
- d) “a estocagem deve ser feita de modo a impedir o contato com qualquer tipo de contaminante (solo, óleos, graxas, entre outros)”.

As armaduras podem ser produzidas na obra ou virem pré fabricadas, ou seja, recebidas cortadas e dobradas, diante desta escolha a produtividade esperada é maior, uma vez que é necessário apenas a montagem das peças.

De acordo com a TCPO (2012) a produtividade neste serviço poderá variar em função de aspectos como:

- Diâmetro das barras
- Quantidade de peças transversais
- Layout do canteiro
- Condições do serviço, o que engloba fatores climáticos, rotatividade, retrabalho;
- Equipamentos adequados.

2.1.3 Concretagem

O concreto simples é uma mistura de cimento, água, agregado miúdo e graúdo e possui reduzida resistência à tração e elevada resistência a compressão (FUSCO, 2008).

Deve apresentar, após ser misturado, propriedade de plasticidade para que seja facilitado o seu transporte, lançamento e adensamento e, após endurecido, deve atender as especificações de projeto quanto a resistência (YAZIGI, 2008).

O concreto pode receber durante seu preparo aditivos, com o objetivo de melhorar ou corrigir alguma propriedade do material, pode alterar características de plasticidade, tempo de pega, permeabilidade e resistência à compressão de acordo com Yazigi (2008).

Freire (2001) define o serviço de concretagem como o recebimento de concreto, transporte até o local de aplicação, lançamento nas fôrmas, espalhamento, adensamento, nivelamento e, finalmente, o acabamento para a posterior cura.

De acordo com TCPO (2012) a produtividade deste serviço pode variar em função de alguns fatores:

- Dimensionamento da equipe;
- Layout do canteiro
- Condições do serviço, o que engloba fatores climáticos, rotatividade, retrabalho;
- Equipamentos adequados;
- Agilidade na troca dos caminhões betoneira;
- Seção transversal da peça a ser concretada;
- Acumulo de armadura.

2.2 Produtividade

O significado de produtividade de acordo com o dicionário Michaelis é o rendimento de uma atividade econômica em função de tempo, área, capital, pessoal e outros fatores de produção, ou seja, é o tempo necessário para a execução de uma tarefa pré-determinada e mensurável.

De acordo com Lantelme et. al. (2001) produtividade pode ser entendida como a eficiência em se produzir mais com a utilização de menos recursos.

Já para Souza (2006), levando em consideração que o processo de produção é a transformação de entradas em saídas, produtividade será a eficiência em que ocorrerá esta transformação sendo cumpridos os objetivos previstos neste processo.

Figura 1 – Definição de produtividade em um processo

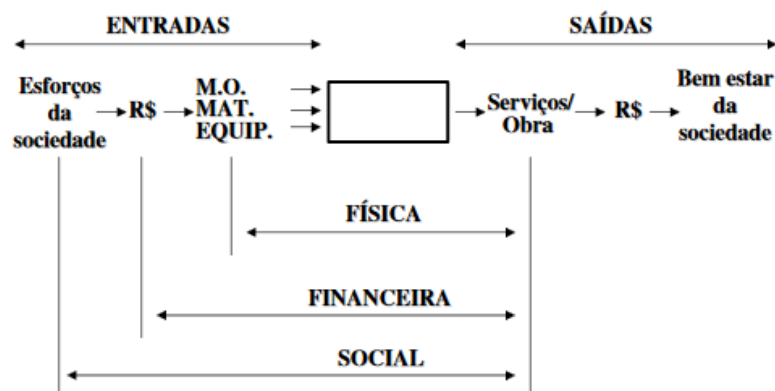


Fonte: Souza (2006).

Para Souza (2000) o processo produtivo na construção civil pode ser avaliado de diferentes formas (FIGURA 2), em função do tipo de entrada (recurso) é possível analisar a produtividade sob diferentes aspectos:

- Físico: leva-se em consideração materiais, equipamentos e mão de obra;
- Financeiro: avalia-se a quantidade de dinheiro demandada;
- Social: o esforço da sociedade é encarado como recurso inicial do processo

Figura 2 – Diferentes abrangências do estudo da produtividade



Fonte: Souza (2000).

O termo produtividade na construção civil está diretamente ligado à produção, no entanto para majorar índices de produção normalmente são necessários investimentos, tanto em contratação de mão de obra quanto de materiais e equipamentos e isto não resultará por consequência em um aumento de produtividade.

O aumento da produtividade pode ser alcançado por medidas mais ou menos drásticas, dependendo da situação. Em alguns casos pequenos ajustes na forma da produção podem gerar um aumento significativo na produtividade.

De acordo com Souza (2000) as maiores dificuldades enfrentadas no estudo da produtividade da indústria da construção civil estão relacionados ao caráter nômade dos canteiros de obra, a baixa qualificação da mão de obra, os baixos salários e a elevada rotatividade.

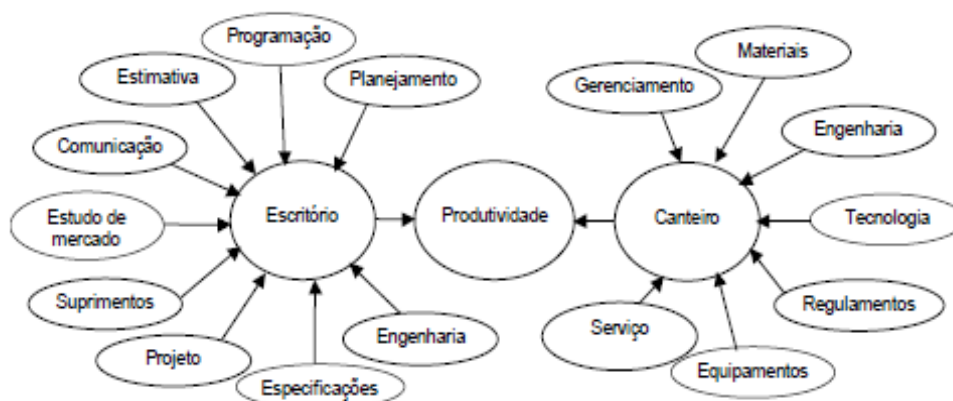
Os processos produtivos dependem de uma série de fatores para que sejam executados de forma positiva e, por tanto, para que haja um aumento na produtividade, estes dependem de diversos fatores que devem ser analisados para que se busquem melhores alternativas, pode-se citar alguns dos seguintes fatores (SOUZA, 2000):

- Capacitação e treinamento da mão-de-obra;
- Metodologia de trabalho utilizada;
- Layout do canteiro de obras;
- Práticas gerenciais de controle;
- Processos de produção;
- Utilização de insumos;
- Estrutura organizacional da empresa.

O gerenciamento do tempo também é de suma importância, deve se aproveitar da melhor forma a jornada de trabalho, evitando que sejam feitas paradas desnecessárias. O trabalho deve ser organizado e planejado de forma que se reduza o tempo improdutivo.

De acordo com Arditi (1985) a produtividade tem relação direta com questões relacionadas ao canteiro de obras e ao escritório, como pode ser verificado na Figura 3.

Figura 3 – Fatores que interferem na produtividade



Fonte: Arditi (1985).

O termo de produtividade está diretamente ligado ao uso de recursos produtivos disponíveis como: espaço físico, ferramentas, mão-de-obra, insumos, técnicas de gerenciamento, meio de transporte interno e externo, informatização e outros (SOUZA, 2000). A produtividade aumentará na medida em que o uso destes recursos for planejado e adaptado para a realidade da empresa.

A Pesquisa Anual da Indústria da Construção (PAIC) de 2013 realizada pelo IBGE quantificou a produtividade e chegou a resultados que indicam que nos anos em que se iniciou a queda na taxa de crescimento da construção civil, ocorreu um aumento nos índices de produtividade dos trabalhadores.

Tabela 1 – Produtividade dos trabalhadores

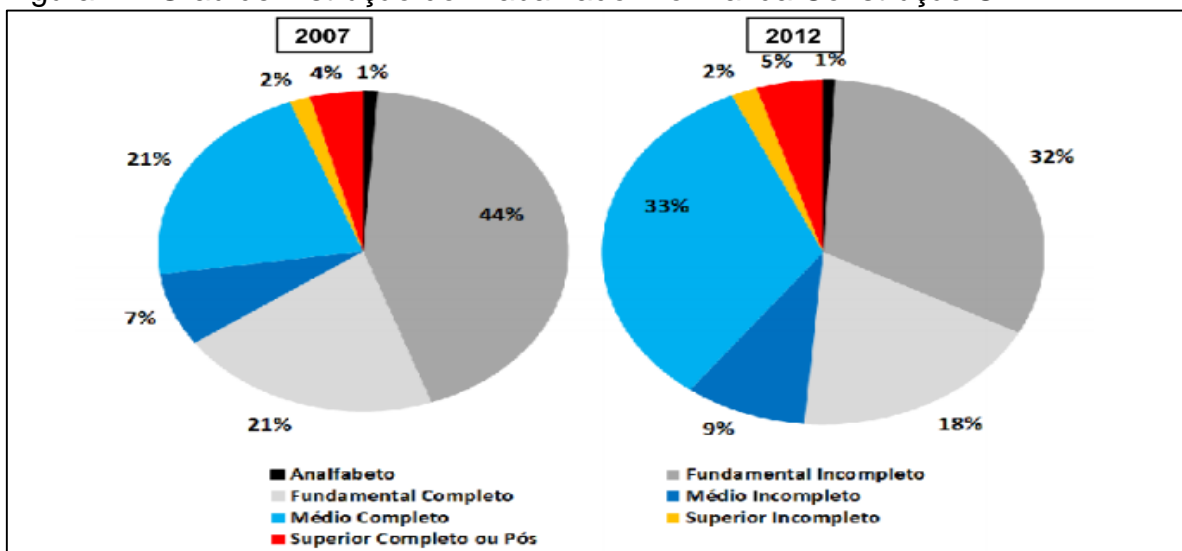
PERÍODO	PRODUTIVIDADE DO TRABALHO
2007/2012	-0,20%
2007/2010	-1,20%
2010/2012	1,30%

Fonte: PAIC (2013) – adaptado

O aumento da produtividade se deve a vários fatores, entre eles a qualificação da mão de obra. Uma vez que um trabalhador com maior grau de escolaridade é capaz de desempenhar sua função com maior eficácia, sendo capaz de observar normas

técnicas do setor, participar de treinamentos e se adaptar a novas tecnologias e processos produtivos. De acordo com dados do Ministério do trabalho e Emprego percebe-se um aumento significativo do grau de escolaridade de trabalhadores da Construção civil considerando dados dos anos de 2007 e 2012.

Figura 4 – Grau de Instrução do Trabalhador Formal da Construção Civil



Fonte: RAIS – Ministério do Trabalho e Emprego (2013).

No entanto não é possível afirmar que o fator determinante pela melhora da produtividade na construção civil seja o aumento do grau de instrução dos colaboradores, uma vez que aliado a isto e com profissionais mais competentes venha um melhor planejamento e gestão da produtividade.

De acordo com Dantas (2006) a produtividade da mão-de-obra na construção civil é um fator de extrema importância, não só pelo valor agregado neste serviço, mas principalmente por se estar lidando com seres humanos, que possuem uma série de necessidades a serem supridas. Já Fachini (2005) ressalta a importância tanto nos custos da obra quanto nos aspectos sociais que a produtividade da mão-de-obra representa.

Souza (1996) afirma que na literatura existem diferentes formas de se medir a produtividade, no entanto a maioria delas é uma razão das entradas e saídas do que se quer avaliar, podem variar como:

- À sua abrangência: índices globais ou parciais;
- Ao que será dado como entradas e saídas;
- À composição da razão entre entradas e saídas.

Souza (1996) propôs um modelo para a medição da produtividade da mão de obra por meio de índices parciais, denominado razão unitária da produção (RUP). Este índice leva em consideração a razão entrada (homensxhoras) e saída (quantidade executada de serviço). A expressão é dada por (Eq. 1):

$$RUP = \frac{\text{Homens} \times \text{Horas (Hh)}}{\text{Quantidade de serviço (Qs)}} \quad (1)$$

A equação indica a quantidade de esforço necessário para a realização de um determinado serviço, ou seja, quanto menor o valor da RUP melhor será a produtividade e vice-versa.

Souza (2006) definiu diferentes RUP's em função do tempo de análise:

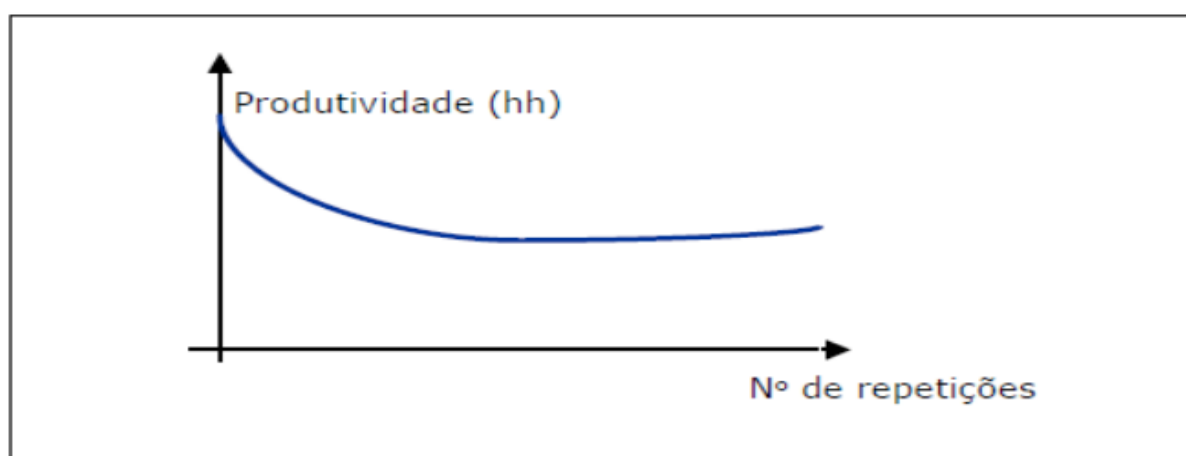
- RUP diária, a cada dia serão medidas as entradas e saídas;
- RUP cumulativa, determinada em um período acumulado e as quantidades de entrada e saída também são acumuladas desde o primeiro dia de estudo até a avaliação;
- RUP cíclica, utilizada quando o serviço possui ciclos bem definidos, por exemplo, o ciclo de concretagem de laje à laje de pavimentos tipo;
- RUP periódica, quando se deseja saber a produtividade de um período determinado, por exemplo, uma semana ou um mês.

Conforme Souza (1996) existem 3 formas básicas de se obter a totalidade de homensxhoras para a execução de um determinado serviço, analisando a folha de pagamento (cartão ponto), através da observação continua ou com informações concedidas pelos encarregados da função.

2.3 Efeito da Aprendizagem

De acordo com Heineck (1991) o efeito da aprendizagem ocorre através do treinamento e repetição de uma determinada tarefa, na qual tem-se um melhor desempenho. Este efeito pode ser verificado na curva de aprendizagem (Figura 4), é possível notar que o número de horas x homens empenhadas em uma determinada tarefa vai diminuindo na medida em que há repetições, até o momento que estabiliza e não há maiores ganhos com relação a este aspecto.

Figura 5 – Curva de Aprendizagem



Fonte: Heineck (1991).

De acordo com Thomas et al. (1986) a repetição de uma tarefa, o treinamento e aprendizagem na sua execução, enfim a experiência, conduzem a um melhor desempenho, ou seja, em aumento da produtividade. A aprendizagem ocorre devido:

- “Familiarização com o trabalho”;
- “Melhoria da coordenação da equipe e dos equipamentos”;
- “Melhoria na coordenação do trabalho”;
- “Melhor gerenciamento e supervisão no dia-a-dia”;
- “Desenvolvimento de melhores métodos de execução”;
- “Melhores formas de suprimento às tarefas”;
- “Menores alterações nos trabalhos e redução de retrabalho”.

De acordo com Thomas et al. (1986) o modelo linear de curva de aprendizagem é o mais coerente para uso na construção civil. O modelo é nomeado assim porque

quando desenhado sob escala logarítmica forma uma linha reta. A presunção do modelo linear é que a taxa de aprendizagem permanece constante ao longo da duração da atividade.

Segundo Thomas et al. (1986), a curva de aprendizagem originalmente foi desenvolvida em 1936 pela T. P. Wright. A fórmula do modelo linear é representada na equação (2):

$$Y_x = A \times X^{-n} \quad (2)$$

Onde:

- Y_x é o custo, quantidade de homem-hora ou tempo necessário para x-ésima operação;
- A é o custo, quantidade de homem-hora ou tempo necessário para primeira operação;
- n é o parâmetro que caracteriza a curva de aprendizagem.

A curva de aprendizagem será regida pelo coeficiente de determinação (R^2), de acordo com Devore (2006) quanto maior o valor de " R^2 " mais coerente é a curva em relação aos valores regredidos em " y ". Conforme Silva e Barros Filho (2000) o coeficiente de determinação da curva estará no intervalo de 0 a 1, a correlação irá variar da seguinte forma:

- 1: correlação positiva perfeita;
- 0,7 a 0,99: correlação positiva muito forte;
- 0,5 a 0,69: correlação positiva substancial;
- 0,3 a 0,49: correlação positiva moderada;
- 0,1 a 0,29: correlação positiva ínfima;
- 0: nenhuma correlação.

A veracidade e utilização dos dados obtidos na curva de aprendizagem estará ligada ao coeficiente de determinação, este deve ser avaliado na futura utilização das informações, para que se tenha a certeza de que a regressão é explicada.

2.3.1 Utilização do Efeito da Aprendizagem na construção civil

De acordo com Gehbauer et al. (2002) o efeito da aprendizagem é caracterizado pela repetição de etapas de produção em uma construção que devido ao treinamento da equipe que executa a atividade tem-se uma melhor produtividade na obra. Este efeito é percebido de forma mais intensa nas primeiras repetições e pode variar de acordo com o grau de dificuldade da atividade, experiência e qualificação dos colaboradores, interrupções no processo executivo e nível de organização antes da atividade.

Segundo Thomas et al. (1986) o efeito da aprendizagem ocorre devido a uma série de fatores: repetição do serviço, harmonia da equipe de trabalho, melhoria na coordenação e no gerenciamento, menores alterações nos trabalhos, melhores métodos executivos, dentre outros.

Para Gehbauer et al. (2002) o efeito da aprendizagem é considerado pela redução no tempo gasto para a realização de uma mesma atividade, na primeira repetição considera-se o tempo gasto como 100%, conforme tem-se mais repetições este percentual tende a diminuir devido a melhora da produtividade e a aprendizagem. A diminuição deste percentual varia conforme o grau de dificuldade da atividade, quanto mais complexas forem maior será a aprendizagem, assim como será menor para atividades de menor complexidade.

Conforme Gates e Scarpa (1972) o uso das curvas de aprendizagem na construção civil mais coerente está na alocação da mão de obra, uma vez que ao se estimar um ganho de produtividade a negociação com empreiteiros e o planejamento logístico do canteiro de obras são mais realistas, o que influenciará diretamente no custo e na lucratividade do empreendimento.

Para Farghal e Everett (1997), a representação dos dados da curva de aprendizagem ocorre com a apresentação dos dados unitários e dos dados médios acumulados. Os representados com dados unitários mostram a razão entre o tempo necessário para completar um determinado ciclo pelo seu quantitativos, já os representados por dados médios cumulativos demonstram o tempo médio necessário para completar todos os ciclos anteriores. De acordo com Marchiori (1998), os dados unitários apresentam o dado bruto na sua forma mais simples, no entanto para algumas atividades pode ocorrer uma grande dispersão dos dados.

A média cumulativa ajuda a diminuir a dispersão dos dados por meio da média de vários ciclos juntos. Uma maior vantagem dos dados médios cumulativos é que eles proporcionam um melhor controle de custo e do cronograma físico (FARGHAL e EVERETT apud MARCHIORI, 1998).

3 MÉTODO DE PESQUISA

A obra em que foi realizado o estudo de caso é de uma construtora referência na Região do Vale do Taquari e Rio Pardo/RS, o caráter repetitivo da mesma se confirma uma vez que trata-se de um empreendimento com oito torres, cada uma com oito pavimentos tipo com cerca de 455m² cada.

A pesquisa limitou-se a analisar a produtividade dos serviços de fôrmas, armadura e concretagem, concentrando-se apenas nos pavimentos de caráter repetitivo. A estrutura de concreto armado apresenta elementos comuns e o canteiro possuía condições adequadas.

3.1 Descrição da obra

A obra está sendo construída no valo do Rio Pardo/RS. O projeto constitui-se de um conjunto de 50 lojas, sete torres residenciais e uma torre office (escritórios), um subsolo com vagas de estacionamento destinadas ao setor comercial (subsolo 01) e dois subsolos residenciais (subsolo 02 e 03). O conjunto de lojas e as torres são interligados por uma avenida privativa. A projeção da obra pode ser verificada na Figura 6:

Figura 6 – Projeção da obra



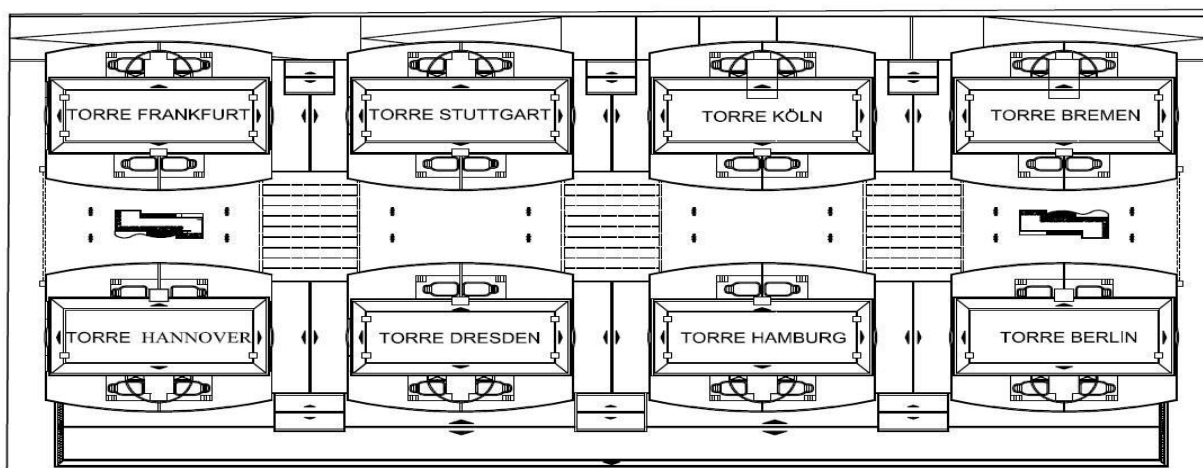
Fonte: Construtora (2015).

3.1.1 Conjunto residencial

O Conjunto Residencial, que será analisado nesta pesquisa, é composto de sete (7) Torres Residenciais, o acesso às torres residenciais é feito pela avenida privativa (Open Mall).

A Implantação Residencial é constituída por sete torres, denominadas Hannover (torre 1), Dresden (torre 2), Hamburg (torre 3), Berlin (torre 4), Frankfurt (torre 5), Stuttgart (torre 6) e Köln (torre 7), a torre Bremen (torre 8) será destinada para os escritórios, conforme Figura 7.

Figura 7 – Implantação



Fonte: Construtora (2015).

As torres Hannover e Berlin são compostas por 8 pavimentos tipo, sendo 16 apartamentos de 3 dormitórios e 16 apartamentos de dois dormitórios e 4 coberturas duplex de 3 dormitórios. As torres Dresden, Hamburg, Frankfurt, Stuttgart e Köln são compostas por 8 pavimentos tipo, totalizando 32 apartamentos de dois dormitórios e mais 4 coberturas duplex de 3 dormitórios. As torres possuem ainda hall de acesso com espaço para porteiro, dois elevadores, escada protegida, espaço para correspondência, área técnica para a reserva de água da chuva e água potável.

3.2 Serviços

A execução dos serviços de fôrmas, armadura e concretagem se deram conforme as instruções de trabalho utilizadas na empresa e conforme treinamentos oferecidos aos colaboradores, cujo objetivo é fixar condições exigíveis de controle de execução, utilizadas como parte integrante do Sistema de Qualidade.

Para as análises da pesquisa deve-se considerar alguns itens relevantes para a execução de cada serviço:

- O sistema de fôrmas utilizado é misto, formado por chapas de madeira compensada e escoramento metálico.
- A armadura utilizada chega da usina com corte e dobra, no canteiro de obras é realizado apenas a armação e montagem.
- O concreto utilizado é fornecido pela usina da empresa. O lançamento ocorre com o auxílio da bomba lança e, em alguns casos, com grua.

3.3 Colaboradores

A análise da produtividade considerou de forma igual as horas trabalhadas de todos os trabalhadores, independentemente da função que exercem, desde que estivessem ligados aos serviços analisado.

A equipe que executou a estrutura do referente estudo é formada por nove colaboradores e manteve-se sem alterações durante o período. Sendo composta por: um encarregado, dois carpinteiros, dois pedreiros e quatro serventes. Todos possuem experiência na área, bom conhecimento quanto aos serviços e receberam treinamentos para que as tarefas fossem realizadas de forma coerente e padrão.

3.4 Levantamento de dados

A quantificação da produtividade do serviço de fôrmas, armação e concretagem foi realizada através de um modelo proposto por Souza (1996), denominado razão unitária da produção (RUP). Este índice relaciona a quantidade de homens-horas necessária para uma determinada quantidade de serviço, é regida pela seguinte equação:

$$RUP = \frac{\text{Homens} \times \text{Horas (Hh)}}{\text{Quantidade de serviço (Qs)}} \quad (3)$$

O valor da quantidade de serviço já é conhecido e indicado no projeto estrutural, o quantitativo dos pavimentos tipos da torre correspondente ao estudo de caso pode ser verificado na Tabela 2:

Tabela 2 – Quantitativo

AÇO (kg)						
TORRE	PAVIMENTO	PILARES	VIGAS	LAJES	ESCADAS	TOTAL
Berlin	TIPO	1551,5	3421,71	3484,80	311,07	8769,08

FÔRMAS (m²)						
TORRE	PAVIMENTO	PILARES	VIGAS	LAJES	ESCADAS	TOTAL
Berlin	TIPO	263,8	166,05	369,35	20,4	819,6

CONCRETO (m³)						
TORRE	PAVIMENTO	PILARES	VIGAS	LAJES	ESCADAS	TOTAL
Berlin	TIPO	22,55	15,5	33,9	2,05	74

Fonte: Construtora (2015).

A coleta de informações quanto ao tempo de serviço e número de funcionários envolvidos na atividade foi realizada de acordo com indicações de Souza (1996) e obtida através da observação contínua juntamente com informações dadas pelos encarregados de cada torre e análise do cartão ponto.

Consideraram-se apenas as horas dos funcionários ligados diretamente as funções observadas, a produtividade da equipe de apoio (segurança, limpeza, operador de grua) não foi analisada. Consideraram-se todas as horas em que o funcionário esteve presente no canteiro de obras, mesmo quando improdutivo.

Os dados de produtividade foram coletados de forma cíclica separadamente para os serviços de fôrma, armadura e concretagem de pilares, vigas, lajes e escadas, para que fosse possível ser realizada uma avaliação da produtividade de todos os elementos e quais os que apresentam maiores problemáticas.

A coleta de homens horas para cada serviço foi realizada diariamente, através de um diário de obra, ao concluir cada ciclo foi possível obter o valor da produtividade, que leva em consideração o total de homens horas necessários para a realização de cada serviço, aliado ao quantitativo do mesmo.

3.5 Efeito da aprendizagem

Tendo em vista os serviços analisados (fôrmas, armadura e concretagem), bem como suas características executivas, buscou-se avaliar o ganho de produtividade e o efeito da aprendizagem obtido através de curvas clássicas, conforme referencial teórico. Desenvolveu-se uma planilha de dados para o acompanhamento diário de produção da equipe, identificando o serviço realizado e a quantidade de homens horas (Hh) necessários para sua execução, outras observações como faltas, fator climático, quebra de equipamentos, falta de materiais foram citada nas planilhas para uma posterior análise de possíveis perdas produtivas.

As informações adquiridas de produtividade para cada pavimento foram analisadas através de gráficos obtidos pelo software Excel 2013. Com base nos dados das planilhas de campo, foi possível formatar um banco de dados com valores globais

para a estrutura do edifício. Tendo os dados e os gráficos foi possível quantificar os ganhos de produtividades através de equações.

Sabendo-se dos ganhos de produtividade devido aos efeitos da aprendizagem, procurou-se apresentar a variação RUP para o planejamento de futuras obras de forma mais precisa, ou seja, se anteriormente o cronograma era elaborado levando em consideração uma RUP única, foi sugerido a adoção de uma regressiva que apresente informações mais coerentes e próximas à realidade.

O gráfico de efeito da aprendizagem foi concebido relacionando a quantidade Hh/unidade do serviço e também pelos seus valores médios, que se refere ao ganho de produtividade por pavimento conforme ocorrem as repetições.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo apresenta-se os resultados obtidos no estudo de caso de uma obra localizada no Vale do Rio Pardo/RS, primeiramente caracteriza-se a empresa, suas características de trabalho e o processo construtivo analisado, posteriormente serão apresentados os dados de produtividade e modeladas as curvas de aprendizagem para cada um dos serviços necessários para a execução da estrutura de concreto armado.

4.1 Características da empresa

Para que os resultados deste trabalho tenham legitimidade e utilidade para futuros projetos é importante expor, além da produtividade obtida para os serviços, as características e métodos construtivos utilizados nos processos da empresa:

- A jornada de trabalho dos colaboradores da empresa durante o período da pesquisa era de 44 horas semanais, de segunda a sexta-feira (das 07:00 às 11:48 e das 13:00 às 17:00), sendo que havia premiação para os funcionários que não possuísem faltas e para os que fizessem hora extra (45 minutos diários).
- O concreto utilizado em toda a obra era da concreteira da própria empresa com $F_{ck} = 30 \text{ Mpa}$, era bombeado para os elementos da estrutura com o *slump-test* atingindo $14 \pm 1 \text{ cm}$. A concretagem normalmente ocorreu com o auxílio da bomba lança, em alguns casos, devido a questões logísticas, utilizou-se grua.

- As fôrmas utilizadas eram confeccionadas nos dois primeiros pavimentos, nos demais as mesmas eram reutilizadas após limpeza e ajustes, quando necessários. Era realizado uma marcação em todas as peças para auxiliar na identificação da localização.
- O canteiro de obras dispunha de duas guas e uma empilhadeira para transporte de materiais, no caso da pesquisa, armaduras, fôrmas e concreto.

4.2 Ciclo construtivo

O ciclo construtivo do pavimento iniciava pela montagem da armadura dos pilares, a ferragem chegava ao canteiro de obras com corte e dobra conforme projeto estrutural, posteriormente era montada nas bancadas de apoio e transferida ao pavimento a ser executado, de acordo com as marcações prévias. Posteriormente, eram colocadas as fôrmas de madeira e realizados os devidos travamentos e escoramentos metálicos. A concretagem ocorria na sequência e, em alguns casos, foi realizada com o auxílio de grua. O processo pode ser verificado nas Figuras 8 e 9.

Figura 8 – Armadura dos pilares



Fonte: Autor (2017).

Figura 9 – Fôrmas dos pilares



Fonte: Autor (2017).

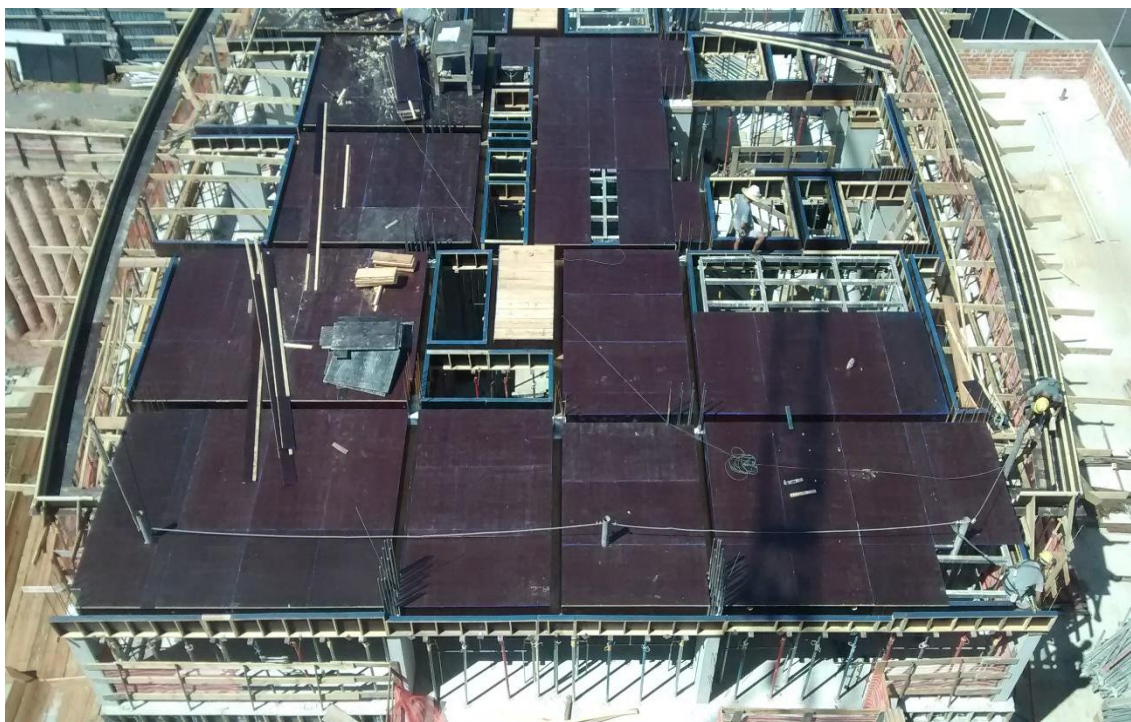
Após a desforma dos pilares, as fôrmas eram limpas para serem utilizadas no pavimento subsequente, colocavam-se os fundos de vigas devidamente escorados e as fôrmas, posteriormente eram colocados os fundos das lajes e realizado todo o travamento e escoramento, conforme as Figuras 10 e 11.

Figura 10 – Fôrmas vigas



Fonte: Autor (2017).

Figura 11 – Fôrmas Laje



Fonte: Autor (2017).

Após a execução e colocação das fôrmas eram inseridas as armaduras das vigas, previamente montadas nas bancadas de apoio, e laje, em conformidade com projeto estrutural, conforme Figura 12.

Figura 12 – Laje armada



Fonte: Autor (2017).

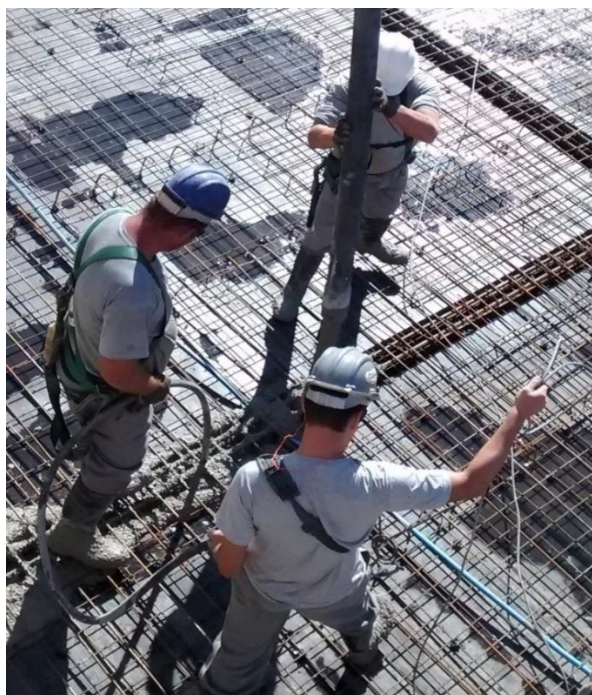
O travamento e escoramento das estruturas era verificado (Figura 13), assim como a conferência de toda a ferragem, após liberação do engenheiro responsável realizava-se a concretagem dos elementos com a utilização da bomba lança, conforme Figura 14.

Figura 13 – Escoramento



Fonte: Autor (2017).

Figura 14 – Concretagem



Fonte: Autor (2017).

4.3 Resultados e discussões referentes a execução de fôrmas

A seguir são apresentados os dados referentes a produtividade da mão de obra para a execução das fôrmas de cada pavimento. Cada pavimento possui 819,6 m² de fôrmas.

Tabela 3 – Produtividade na execução das fôrmas

Produtividade para a execução de fôrmas					
Pavimento	Hh	Hh médio	RUP (Hh/m ²)	RUP média (Hh/m ²)	Fator Redutor
1º	806,53	806,53	0,98	0,98	1
2º	781,20	793,87	0,95	0,97	0,97
3º	660,45	749,39	0,81	0,91	0,82
4º	618,20	716,60	0,75	0,87	0,77
5º	593,59	691,99	0,72	0,84	0,74

Fonte: Autor (2017).

Ao analisar a segunda coluna da tabela percebe-se que houve um decréscimo na quantidade homens horas conforme ocorrem as repetições, a maior redução ocorreu com os dois primeiros pavimentos em relação aos demais, isto ocorre pois nestes dois são confeccionados os jogos de fôrmas e realizados maiores ajustes, nos pavimentos subsequentes eles são reutilizados após limpeza.

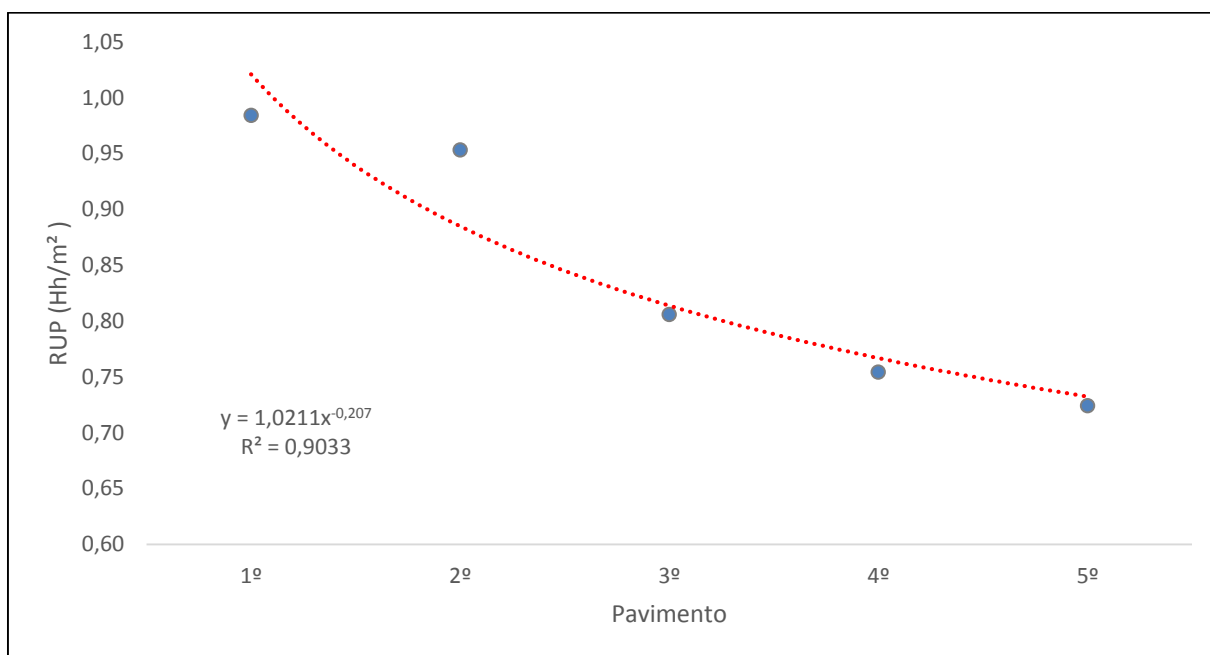
Sabendo-se da quantidade de fôrmas utilizadas obteve-se a RUP de cada pavimento, ou seja a razão entre o número de homens horas pelo área de fôrmas. Estes indicadores são utilizados como referência para futuras obras.

Os valores médios de ambos os parâmetros são índices que podem ser utilizados de forma linear para o planejamento global de futuras obras, de acordo com a quantidade de pavimentos.

Calculou-se ainda um fator redutor da RUP que representa o percentual reduzido de homens horas conforme ocorrem as repetições, levando em consideração o valor do primeiro pavimento. Este valor é importante uma vez que fornece-se a informação direta do percentual reduzido com a repetição, dado esse não considerado em bibliografias de referência para o planejamento de obras, como a TCPO (Tabela de Composição de Preços para Orçamentos), por exemplo.

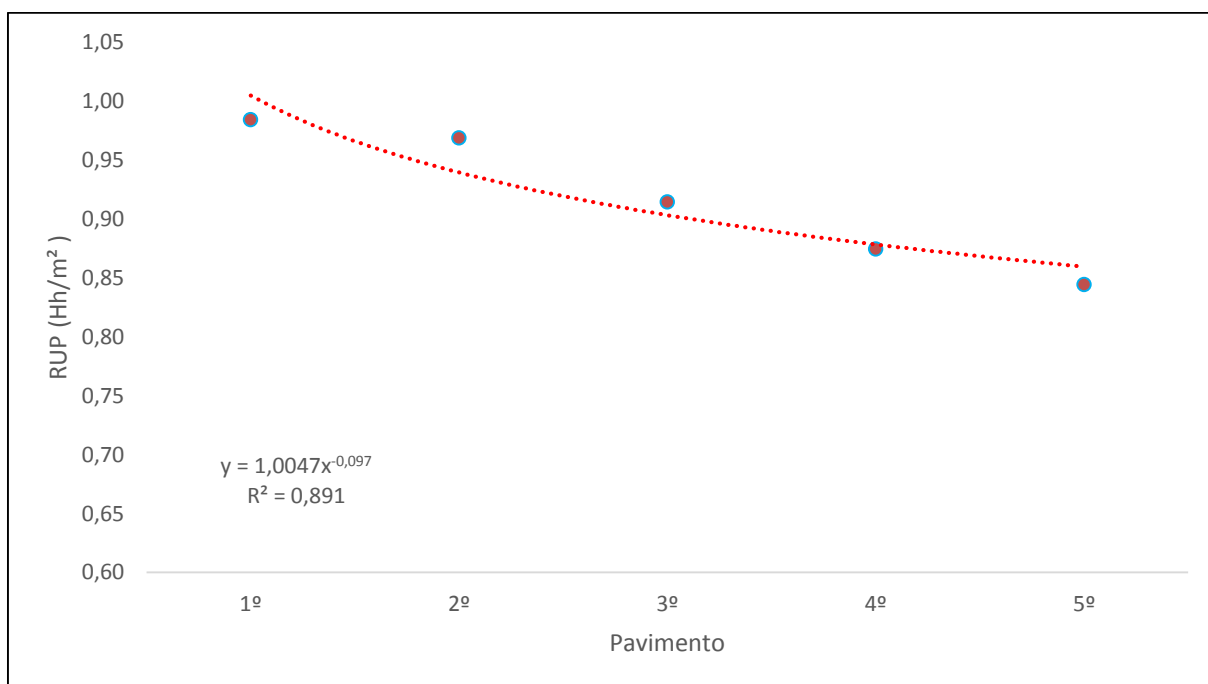
Posteriormente os dados foram organizados de forma gráfica para a visualização do efeito da aprendizagem na execução do serviço de fôrmas. Foram elaborados dois gráficos com o valor da RUP e RUP média, conforme Gráfico 1 e 2, respectivamente:

Gráfico 1 – Efeito da aprendizagem na execução de fôrmas



Fonte: Autor (2017).

Gráfico 2 – Efeito da aprendizagem na execução de fôrmas (média)



Fonte: Autor (2017).

A equação que concede a informação quanto ao efeito da aprendizagem é fornecida por $Yx = A \times X^{-n}$ e no gráfico 1 é dada por $Y = 1,0211x^{-0,207}$, com $R^2 = 0,9033$, este coeficiente de determinação da curva é considerado, segundo Silva e Barros Filho (2000), uma correlação positiva muito forte. Observa-se que a curva de aprendizagem apresentada ocorre como indicado na literatura e que existe o efeito da aprendizagem neste serviço.

Da mesma forma para o gráfico 2, os valores obtidos para a RUP média seguem a equação $Y = 1,0047x^{-0,097}$, com $R^2 = 0,891$ este coeficiente de determinação da curva é considerado, segundo Silva e Barros Filho (2000), uma correlação positiva muito forte. Observa-se que a curva de aprendizagem apresentada ocorre como indicado na literatura e que existe o efeito da aprendizagem neste serviço.

Os valores das equações são de grande importância para o cronograma físico e financeiro de uma obra com características semelhantes a da pesquisa, ao substituir o valor de x pelo número de pavimentos da obra a ser planejada é possível prever o valor da produtividade deste serviço com maior exatidão.

4.4 Resultados e discussões referentes a execução das armaduras

A seguir são apresentados os resultados quanto a produtividade na execução das armaduras. Considerou-se 8792,43 Kg de aço para cada pavimento do edifício.

Tabela 4 – Produtividade na execução das armaduras

Produtividade para a execução da armadura					
Pavimento	Hh	Hh médio	RUP (Hh/Kg)	RUP média (Hh/Kg)	Fator Redutor
1º	566,80	566,80	0,064	0,064	1
2º	552,20	559,50	0,063	0,064	0,97
3º	512,70	543,90	0,058	0,062	0,90
4º	467,06	524,69	0,053	0,060	0,82
5º	439,30	507,61	0,050	0,058	0,78

Fonte: Autor (2017).

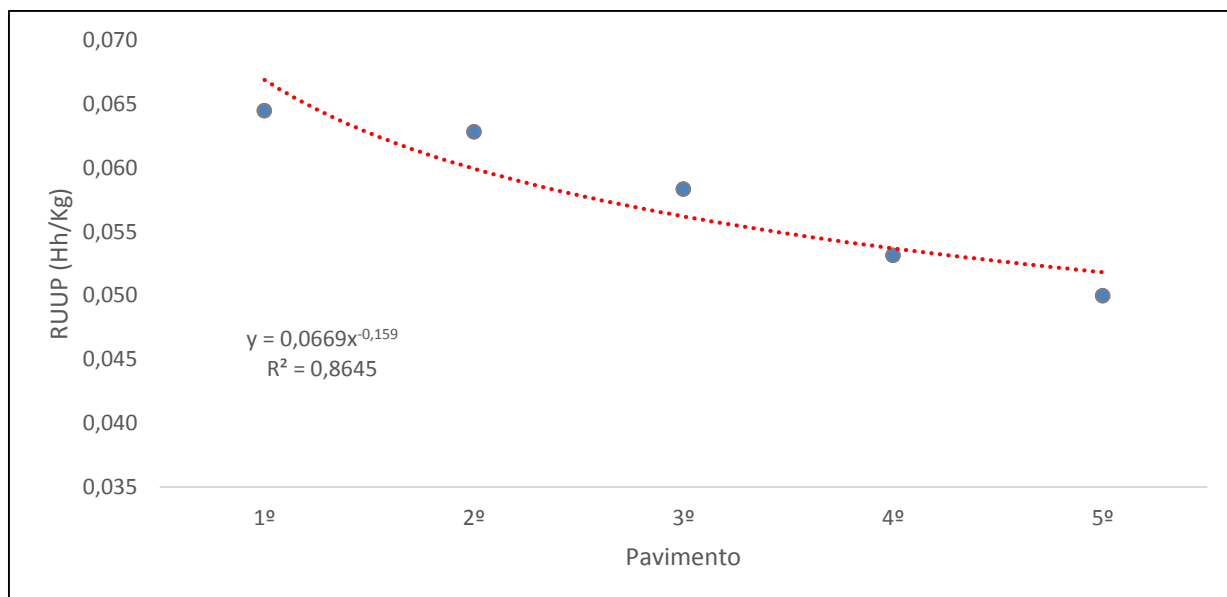
Observa-se na segunda coluna da tabela que houve uma redução na quantidade homens horas conforme ocorrem as repetições e que, sabendo-se da quantidade de aço utilizada em cada pavimento obteve-se também a RUP, a razão unitária entre o número de homens horas pelo total de aço.

Os valores médios de ambos os parâmetros são índices que podem ser utilizados de forma linear para o planejamento global de futuras obras, de acordo com a quantidade de pavimentos.

Calculou-se ainda um fator redutor da RUP que representa o percentual reduzido de homens horas conforme ocorrem as repetições, levando em consideração o valor do primeiro pavimento. Este fator atingiu no quinto pavimento o valor de 0,78, que representa um índice de ganho de produtividade considerável.

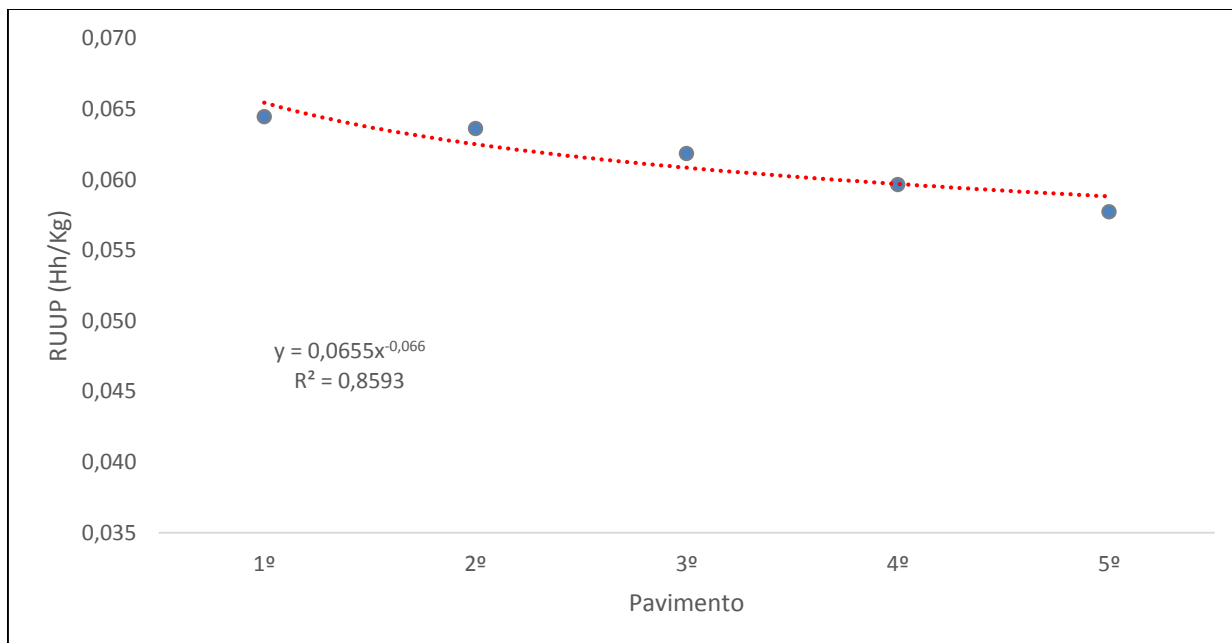
Posteriormente os dados foram organizados de forma gráfica para a visualização do efeito da aprendizagem na execução das armaduras. Foram elaborados dois gráficos com o valor da RUP e RUP média:

Gráfico 3 – Efeito da aprendizagem na execução de armadura



Fonte: Autor (2017).

Gráfico 4 – Efeito da aprendizagem na execução de armadura (média)



Fonte: Autor (2017).

A equação que fornece a informação quanto ao efeito da aprendizagem no Gráfico 3 é dada por $Y = 0,0669x^{-0,159}$ com $R^2 = 0,8645$, este coeficiente de determinação da curva é considerado, segundo Silva e Barros Filho (2000), uma correlação positiva muito forte.

Da mesma forma para o Gráfico 4, os valores obtidos para a RUP média seguem a equação $Y = 0,0655x^{-0,066}$ com $R^2 = 0,8593$ este coeficiente de determinação da curva é considerado, segundo Silva e Barros Filho (2000), uma correlação positiva muito forte. Observa-se que as curvas de aprendizagem apresentadas ocorrem como indicado na literatura e que existe o efeito da aprendizagem neste serviço.

4.5 Resultados e discussões referentes a execução da concretagem

Na tabela 5 são apresentados os resultados quanto a produtividade na execução da concretagem. Considerou-se 74 m³ de concreto para cada pavimento do edifício.

Tabela 5 – Produtividade na execução da concretagem

Produtividade para a execução da concretagem					
Pavimento	Hh	Hh médio	RUP (Hh/m³)	RUP média (Hh/m³)	Fator Redutor
1º	97,00	97,00	1,31	1,31	1,00
2º	97,00	97,00	1,31	1,31	1,00
3º	95,00	96,33	1,28	1,30	0,98
4º	94,00	95,75	1,27	1,29	0,97
5º	92,00	95,00	1,24	1,28	0,95

Fonte: Autor (2017).

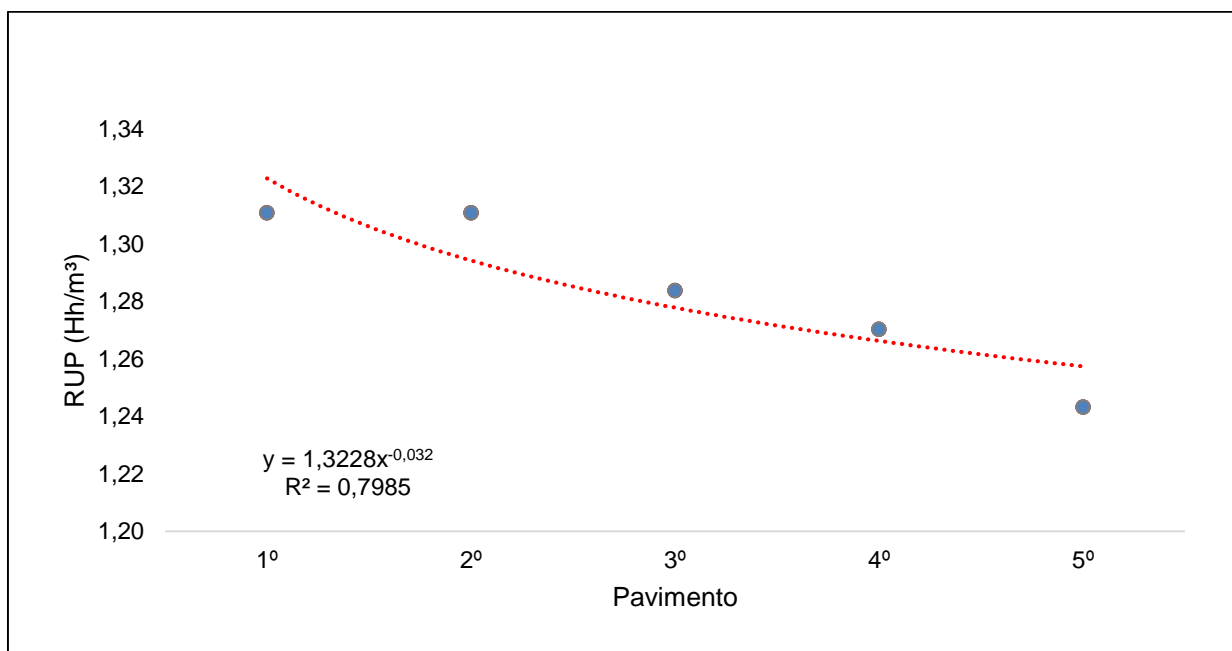
Observa-se na segunda coluna da tabela que houve uma redução na quantidade homens horas conforme ocorrem as repetições, com exceção ao segundo pavimento, neste a concretagem dos pilares ocorreu com a grua ao invés da bomba lança, o que acarretou em um valor maior do que o esperado de homens horas.

Sabendo-se da quantidade de concreto utilizada em cada pavimento obteve-se também a RUP, ou seja a razão unitária entre o número de homens horas pelo total de concreto.

Determinou-se ainda um fator redutor da RUP que representa o percentual de homens horas conforme ocorrem as repetições, levando em consideração o valor do primeiro pavimento. Este fator atingiu no quinto pavimento o valor de 0,95, que representa um baixo índice de ganho de produtividade, o que já era previsto por se tratar de um serviço padrão de curta duração, no qual não há muitos ganhos com relação a aprendizagem.

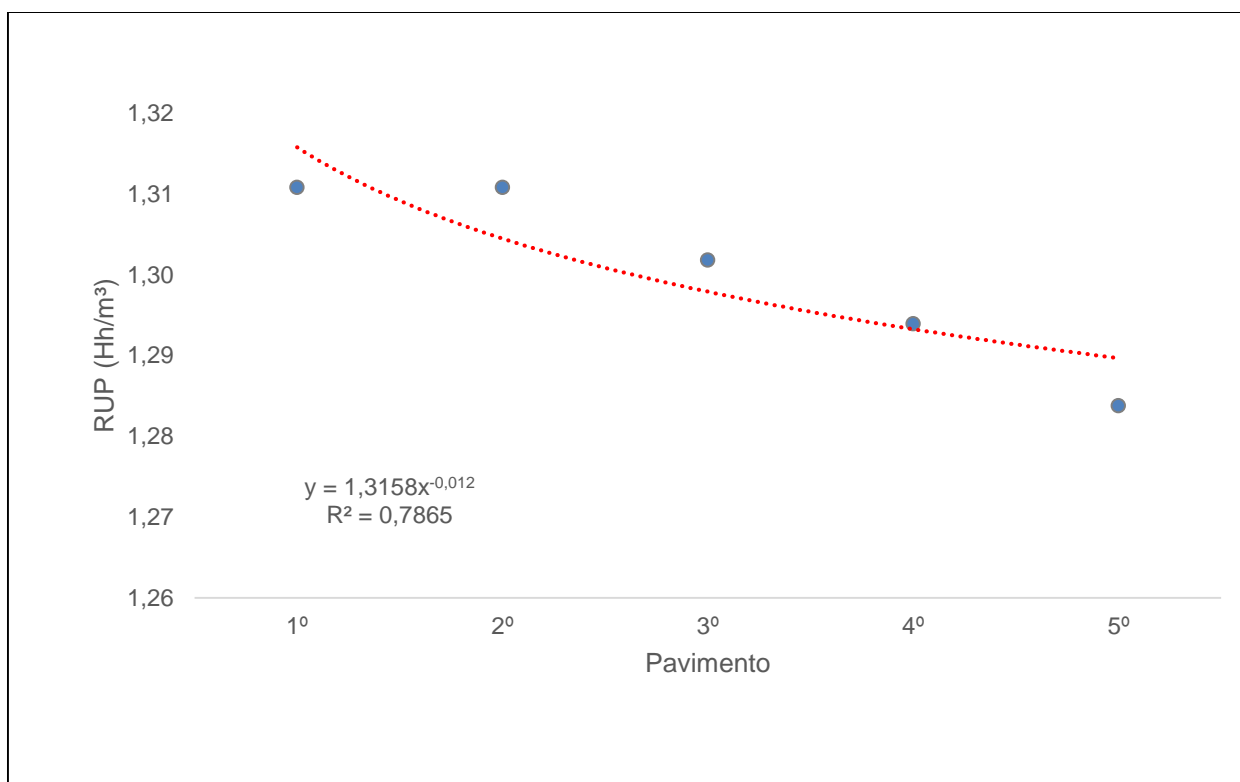
Posteriormente os dados foram organizados de forma gráfica para a visualização do efeito da aprendizagem na execução da concretagem. Foram elaborados dois gráficos com o valor da RUP e RUP média:

Gráfico 5 – Efeito da aprendizagem na execução da concretagem



Fonte: Autor (2017).

Gráfico 6 – Efeito da aprendizagem na execução da concretagem (média)



Fonte: Autor (2017).

A equação que concede a informação quanto ao efeito da aprendizagem no Gráfico 5 é dada por $Y = 1,3228x^{-0,032}$ com $R^2 = 0,7985$ este coeficiente de determinação da curva é considerado, segundo Silva e Barros Filho (2000), uma correlação positiva muito forte, devido a equivalência de homens horas na execução do primeiro e segundo pavimentos a correlação entre os valores de x e y possui um valor com menor representatividade da regressão, se comparado com os serviços de fôrma e armadura. Observa-se que a curva de aprendizagem apresentada ocorre como indicado na literatura e que existe o efeito da aprendizagem neste serviço.

Da mesma forma para o Gráfico 6, os valores obtidos para a RUP média seguem a equação $y = 1,3158x^{-0,012}$ com $R^2 = 0,7865$ este coeficiente de determinação da curva é considerado, segundo Silva e Barros Filho (2000), uma correlação positiva muito forte. Evidencia-se que a curva de aprendizagem apresentada ocorre como indicado na literatura e que também existe o efeito da aprendizagem neste serviço.

Os valores das equações são de grande importância para o cronograma físico e financeiro de uma obra com características semelhantes a da pesquisa, ao substituir o valor de x pelo número de pavimentos da obra a ser planejada é possível prever o valor da produtividade deste serviço com maior exatidão.

4.6 Resultados e discussões referentes a execução da estrutura de concreto armado

Por fim, apresenta-se os resultados quanto a execução da estrutura de concreto armado do presente estudo de caso, ressalta-se que foram consideradas apenas as horas para os serviços de fôrma, armação e concretagem. A RUP global da estrutura é obtida através da razão do somatório das horas de serviço pela área do pavimento, que corresponde a 455m².

Tabela 6 – Produtividade na execução da estrutura de concreto armado

Produtividade para a execução da estrutura de concreto armado					
Pavimento	Hh	Hh médio	RUP (Hh/m²)	RUP média (Hh/m²)	Fator Redutor
1º	1470,33	1470,33	3,23	3,23	1,00
2º	1430,40	1451,37	3,14	3,19	0,97
3º	1268,15	1390,29	2,79	3,05	0,86
4º	1179,26	1337,54	2,59	2,94	0,80
5º	1124,89	1295,00	2,47	2,85	0,77

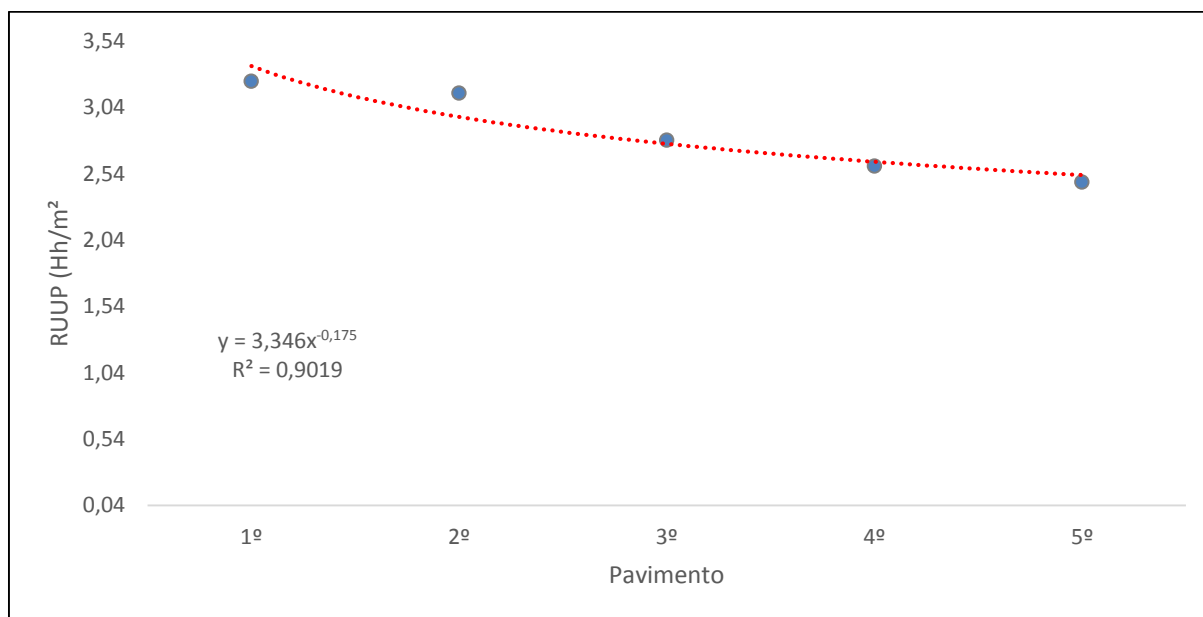
Fonte: Autor (2017).

Nota-se que o número de homens hora é reduzido na medida em que há repetição do serviço, a média destes valores permite que se crie valores de referência para edificações semelhantes para fins de cronogramas e orçamentos.

Calculou-se ainda um fator redutor da RUP que representa o percentual reduzido de homens horas conforme ocorrem as repetições, levando em consideração o valor do primeiro pavimento. Este fator atingiu no quinto pavimento o valor de 0,77, que representa um índice de ganho de produtividade considerável.

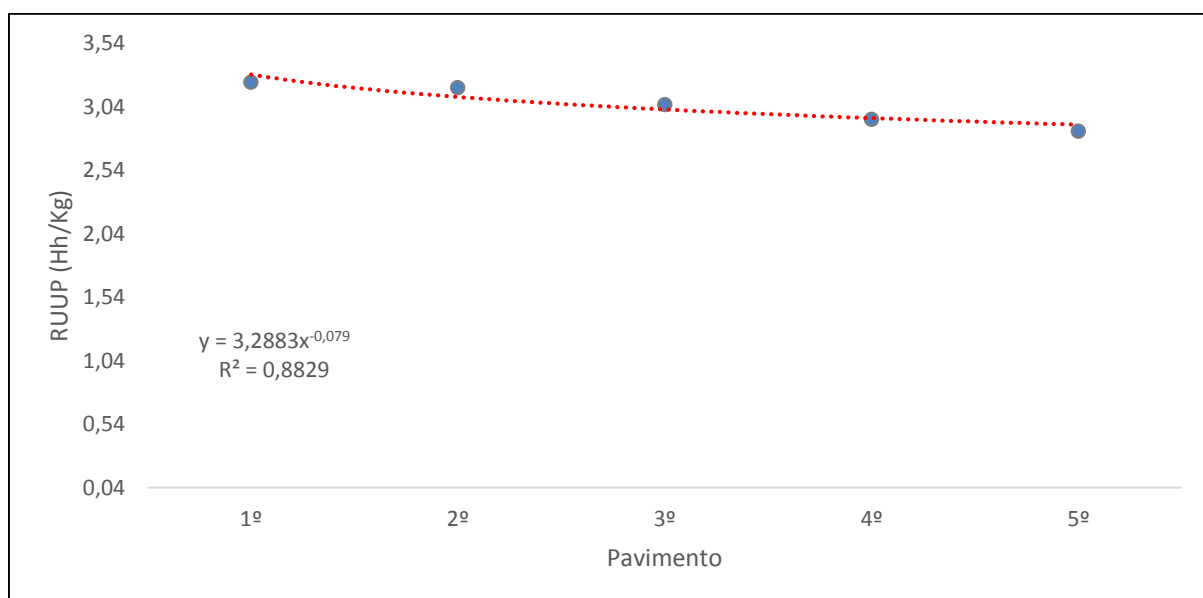
Posteriormente os dados foram organizados de forma gráfica para a visualização do efeito da aprendizagem na execução da estrutura. Foram elaborados dois gráficos com o valor da RUP e RUP média, conforme Gráfico 7 e Gráfico 8, respectivamente.

Gráfico 7 – Efeito da aprendizagem na execução da estrutura de concreto armado



Fonte: Autor (2017).

Gráfico 8 – Efeito da aprendizagem na execução da estrutura de concreto armado



Fonte: Autor (2017).

A equação que fornece a informação quanto ao efeito da aprendizagem no Gráfico 7 é dada por $Y = 3,346x^{-0,175}$ com $R^2 = 0,9019$, este coeficiente de determinação da curva é considerado, segundo Silva e Barros Filho (2000), uma correlação positiva muito forte.

Da mesma forma para o Gráfico 8, os valores obtidos para a RUP média seguem a equação $Y = 3\,3,2883x^{-0,079}$ com $R^2 = 0,8928$ este coeficiente de determinação da curva é considerado, segundo Silva e Barros Filho (2000), uma correlação positiva muito forte. Nota-se que as curvas de aprendizagem apresentadas ocorrem como indicado na literatura e que existe o efeito da aprendizagem é existente na execução de estruturas de concreto armado.

4.7 Análise comparativa dos resultados

Verifica-se na tabela 7 o comparativo das equações de cada um dos serviços analisados, preferiu-se apresentar as informações relativas a produtividade média (Hh) por quantidade de serviço, uma vez que para fins de planejamentos futuros é mais plausível utilizar dados médios para questões de orçamentos e cronograma. Apresenta-se também o fator redutor da RUP, para que se possa observar em quais serviços a aprendizagem está mais presente e precisa ser analisada com mais atenção.

Tabela 7 – Comparação de dados dos serviços

Serviço	Equação	Fator redutor (5º pav.)
Fôrmas	$Y = 1,0047x^{-0,097}$	0,74
Armação	$Y = 0,0655x^{-0,066}$	0,78
Concretagem	$Y = 1,3158x^{-0,012}$	0,95
Estrutura	$Y = 3,2883x^{-0,079}$	0,77

Fonte: Autor (2017).

Avaliando a coluna correspondente ao fator redutor da RUP pode-se observar que, relacionando o primeiro com o quinto pavimento, os serviços de fôrma e armação possuem um percentual menor, ou seja o fator aprendizagem é maior e necessita ser considerado, já para a concretagem observa-se um percentual maior, por tanto uma aprendizagem menor. No entanto para a estrutura como um todo percebe-se que o fator redutor da RUP mantém-se com um valor que representa um aprendizado maior, porque a quantidade de homens horas para a execução das fôrmas e armação é muito superior a da concretagem, por tanto influenciam de forma mais expressiva na determinação do coeficiente global.

Ressalta-se que os valores de RUP e equações determinados pelo estudo de caso são particulares da própria edificação e podem variar de acordo com outros fatores como: métodos de trabalho, fatores climáticos, qualificação da mão de obra, projeto, materiais utilizados, entre outros. No entanto comprova-se que o fator de aprendizagem esteve presente e necessita ser considerado para que se obtenha um melhor planejamento e controle da obra.

5 CONCLUSÕES

A análise da produtividade da mão de obra na construção civil é de suma importância, por fatores sociais, ou seja, o fato de se estar avaliando o desempenho de seres humanos com características e necessidades diferentes e por fatores econômicos uma vez que a mão de obra é responsável por uma parte considerável do orçamento de uma obra. No caso da execução da estrutura é ainda mais relevante, uma vez que os demais serviços só poderão prosseguir após sua conclusão.

Verificou-se na pesquisa, dentro de suas limitações, que o efeito da aprendizagem é presente e deve ser considerado no planejamento de estruturas com características repetitivas.

Observou-se que o serviço de concretagem é o que apresenta menor índice de aprendizagem, por se tratar de um serviço padrão e de rápida execução, no qual não há muito o que “aprender”. Na execução das fôrmas e armaduras o fator redutor da RUP atingiu 0,74 e 0,78, respectivamente, relacionando o quinto pavimento executado ao primeiro, sendo esse um valor que deve ser considerado no planejamento. Constata-se que em atividades de maior complexidade o ganho de produtividade devido ao efeito da aprendizagem será superior ao ganho em serviços mais simples.

Ressalta-se que a pesquisa analisou somente uma obra com características próprias e apenas os cinco primeiros pavimentos do edifício, podendo haver

distorções caso as fórmulas e métodos aqui apresentados sejam utilizados em obras com características diferentes ou com número de pavimentos superior.

Conclui-se que, dentro da amostragem e das limitações do estudo, há uma relação direta entre o ganho da produtividade e a repetição da estrutura e que esta informação deve ser considerada no planejamento e gestão de futuras obras para que as empresas ganhem maior competitividade no mercado.

REFERÊNCIAS

ASSAHI, P.N. **Sistemas de fôrmas para estrutura de concreto**. In: ISAIA, G.C. (Org.). Concreto. Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo: Ibracon, 2005. vol. 1. p. 407 -437.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (1944). **Fôrmas de madeira para concreto armado em edifícios comuns**. Boletim Técnico nº 50. São Paulo

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRAS DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRAS DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14931**: Execução de estruturas de concreto - Procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004..

ARAÚJO, L.O.C. **Método para a previsão e controle da produtividade na execução de fôrmas, armação, concretagem e alvenaria**. 2000, 385p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000.

AZEVEDO, Márcio Lenin M. Produtividade na Construção Civil. **Ecivilnet**. Disponível em: <http://www.ecivilnet.com/artigos/produtividade_na_construcao_civil.htm>. Acesso em: 24 maio 2017.

BARROS, M. M. S. B.; MELHADO, S. B. **Recomendações para a produção de estruturas de concreto armado em edifícios**. São Paulo: Projeto Epusp/Senai. 1998, 40p.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO, CBIC. **A produtividade da construção civil Brasileira**. Brasília, 2010, 63 p.

CARRARO, F. & Souza, U. E. L. **Monitoramento da Produtividade da Mão-de-Obra na Execução da Alvenaria: um caminho para a otimização dos recursos**.

Congresso Latino Americano de Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios (3 a 6 de novembro, 1998). PCC-USP, São Paulo, 1998

CBIC. Fundação Getúlio Vargas Projetos. **A produtividade da Construção Civil Brasileira**. Disponível em: <<http://www.cbicdados.com.br/media/anexos/066.pdf>>. Acesso em: 01 jun. 2017.

COSTA, A. L. M. C. **A questão da produtividade**. Organização do Trabalho: uma abordagem interdisciplinar / sete estudos sobre a realidade brasileira. São Paulo, Atlas, 1987.

CHEMIN, Beatris F. **Manual da Univates para trabalhos acadêmicos: planejamento, elaboração e apresentação**. 3. ed. Lajeado: Univates, 2015.

DANTAS, M. M. **Proposições de ações para a melhoria da produtividade da Concretagem em edifícios verticais**. 2006. 173 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

FACHINI, A. C. **Subsídios para a programação da execução de estruturas de concreto armado no nível operacional**. São Paulo, 2005. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.

FREIRE, T. M. **Produção de estruturas de concreto armado, moldadas in loco, para edificações: caracterização das principais tecnologias e formas de gestão adotadas em São Paulo**, 2001.

FUSCO, P.B. **Estruturas de Concreto**. São Paulo: Pini, 2008.

HEINECK, L. F. **Efeito aprendizagem, efeito continuidade e efeito concentração no aumento da produtividade na alvenaria**. Anais do III Simpósio de Desempenho de Materiais e Componentes de Construção Civil, Florianópolis-SC, 1991.

HEINECK L. F. M. **Dignóstico de mudanças voltadas à qualidade e produtividade de canteiros de obra Brasileiros**. 1998.

HRUGER, José A., HEINECK, Luiz F. M. **A elaboração de manuais de procedimentos padronizados para a melhoria da qualidade e produtividade; Ação de uma empresa de construção civil num ambiente de competitividade e globalização**. Florianópolis, 11 p.

LANTELME, E.M.V; TZORTZOPOULOS, P.; FORMOSO, C.T. **Indicadores de Qualidade e Produtividade para a Construção Civil**. Porto Alegre: Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001. (Relatório de Pesquisa).

MARANHÃO, G. M. **Fôrmas para Concreto: subsídios para a otimização do projeto segundo a NBR 7190/97.** São Carlos, 2000. 188p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos (SP), 2000.

MARTINES, R. C. C. – **Implantação de sistema de gestão da produtividade em empresa construtora.** 2007, 96p. Dissertação (Mestrado em Habilitação). São Paulo, 2007.

SILVA, M. J. F. – **Previsão de indicadores de produtividade para estruturas de concreto armado: serviço fôrmas.** 2008. 150p. Dissertação (Mestrado em Habilitação), São Paulo, 2008.

SOUZA, U. E. L. – **Metodologia para o estudo da produtividade da mão de obra no serviço de fôrmas para estruturas de concreto armado.** 1996. 280p. Tese (Doutorado em Engenharia) São Paulo, 1996.

SOUZA, U. E. L. – **Método para a previsão de produtividade da mão de obra e do consumo unitário de materiais para serviços de fôrmas, armação, concretagem, alvenaria, revestimentos com argamassa, contrapiso, revestimento com gesso e revestimento cerâmico.** 2001. 357p. Tese (Livre Docência). São Paulo, 2001

TCPO 2012. **Tabela de composições de Preços para Orçamentos.** 14 ed., São Paulo, Editora PINI, 2012. 659p.

TEIXEIRA Regina C., MEng; TEIXEIRA, Ivandi S., MSc. **A relação entre motivação e produtividade nas empresas de construção civil.** Florianópolis, UFSC, ANTAC, 1998.

YAZIGI Walid. **A técnica de edificar.** 9 ed., São Paulo, Editora PINI, 2008, 769P.

ZORZI, A. C. **Forma com molde em madeira para estruturas de concreto armado: recomendações para melhoria da qualidade e produtividade com redução de custos.** 2002. 213p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo. São Paulo, 2002.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Planilha de acompanhamento diário de produção

ACOMPANHAMENTO DIÁRIO DE PRODUÇÃO				
PAVIMENTO: 1º pavimento - tipo		AREA: 455 m²		
DATA: 24/07/2017		CONDIÇÃO CLIMÁTICA: favorável		
EQUIPE:		nome_1, nome_2, nome_3, nome_4, nome_5, nome_6, nome_7, nome_8 e nome_9		
SERVIÇO	DESCRIÇÃO	COLABORADORES	HORAS TRABALHADAS	Hh
Fôrmas	locação pilares	2	9,5	19
Armação	armação pilares	7	9,5	66,5
Concretagem	-	-	-	-
Desfôrma	-	-	-	-
OBSERVAÇÕES				
<p>Não houveram problemas</p>				

APÊNDICE B – Planilha de produtividade do pavimento

1º PAVIMENTO - TIPO					
DIA	HORA		TOTAL	FORMA	
	INÍCIO	TÉRMINO	HORAS	OPERÁRIOS	PRODUÇÃO
1	07:00	17:45	9,50	2	19,0
2	07:00	17:45	9,50	9	85,5
3	07:00	17:45	9,50	9	85,5
4	07:00	17:45	9,50	9	85,5
5	07:00	17:45	9,50	6	57,0
6	07:00	17:45	9,50	6	57,0
7	07:00	17:45	9,50	9	85,5
8	07:00	17:45	9,50	9	85,5
9	07:00	17:45	9,50	9	85,5
10	07:00	17:45	9,50	9	85,5
11	07:00	16:30	8,25	6	49,5
12	07:00	17:45	8,50	3	25,5
		TOTAL:	111,75	TOTAL:	806,5
QUANTITATIVO				819,6	m ²
PRODUTIVIDADE				0,98	Hh/m ²
DIA	HORA		TOTAL	FERRAGEM	
	INÍCIO	TÉRMINO	HORAS	OPERÁRIOS	PRODUÇÃO
1	07:00	17:45	9,50	7	66,5
2	07:00	17:45	9,50	9	85,5
3	07:00	17:45	9,50	9	85,5
4	07:00	17:45	9,50	9	85,5
5	07:00	17:45	9,50	9	85,5
6	07:00	16:45	8,50	5	42,5
7	07:00	17:45	9,50	3	28,5
8	07:00	17:45	9,50	6	57,0
9	07:00	10:25	3,37	9	30,3
		TOTAL:	0	TOTAL:	566,8
QUANTITATIVO				8792,43	Kg
PRODUTIVIDADE				0,06	Hh/Kg
DIA	HORA		TOTAL	CONCRETAGEM	
	INÍCIO	TÉRMINO	HORAS	OPERÁRIOS	PRODUÇÃO
1	07:00	11:15	4,20	5	21,0
2	07:00	17:45	9,50	8	76,0
		TOTAL:	0	TOTAL:	97,0
QUANTITATIVO				74	m ³
PRODUTIVIDADE				1,31	Hh/m ³
TOTAL DE HORAS 1º PAVIMENTO = 1470,3					